



## DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITE DE COOPERATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(51) Classification internationale des brevets <sup>6</sup> : <b>C12Q 1/04, G01N 17/00</b>	<b>A1</b>	(11) Numéro de publication internationale: <b>WO 97/12990</b> (43) Date de publication internationale: 10 avril 1997 (10.04.97)
<p>(21) Numéro de la demande internationale: PCT/FR96/01515</p> <p>(22) Date de dépôt international: 27 septembre 1996 (27.09.96)</p> <p>(30) Données relatives à la priorité: 95/11493 29 septembre 1995 (29.09.95) FR</p> <p>(71) Déposant (pour tous les Etats désignés sauf US): THOMSON-CSF [FR/FR]; 173, boulevard Haussmann, F-75008 Paris (FR).</p> <p>(72) Inventeur; et (75) Inventeur/Déposant (US seulement): LIPSKIER, Jean-François [FR/FR]; Thomson-CSF S.C.P.I., Boîte postale 329, F-92402 Courbevoie Cédex (FR).</p> <p>(74) Mandataire: THOMSON-CSF S.C.P.I; Boîte postale 329, F-92402 Courbevoie Cédex (FR).</p>	<p>(81) Etats désignés: JP, US, brevet européen (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).</p> <p>Publiée Avec rapport de recherche internationale.</p>	

(54) Title: DEVICE FOR DETECTING AND CONTROLLING BIOFILMS

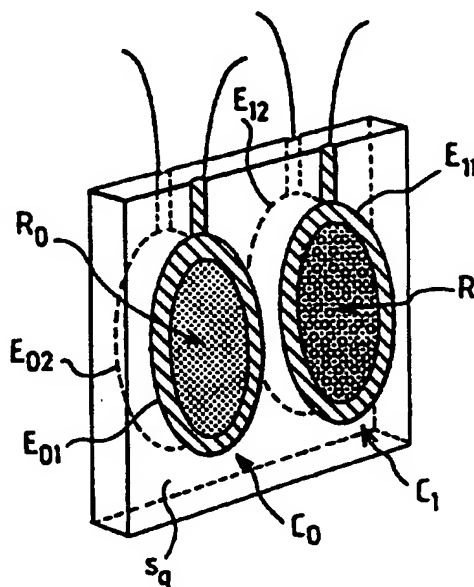
(54) Titre: DISPOSITIF DE DETECTION ET DE CONTROLE DE BIOFILMS

## (57) Abstract

A device for detecting and controlling a biofilm being formed on a surface exposed to a moist environment. The device includes at least two microsenors ( $C_0$ ,  $C_1$ ) of which one has a biofilm-neutral surface exposed to the moist environment while another has a biofilm formation-inhibiting surface exposed to the moist environment. The device further includes differential measurement means between the two microsenors. The inhibitory effect of the exposed surface may be provided by antibiotic agents that are active against microorganisms in the biofilm. The device may be used in a water supply system.

## (57) Abrégé

L'invention concerne un dispositif de détection et de contrôle de biofilms se formant sur une surface en contact avec un milieu humide. Le dispositif comprend au moins deux micro-capteurs ( $C_0$  et  $C_1$ ), l'un possédant une surface de contact avec le milieu humide, neutre vis-à-vis du biofilm, un autre possédant une surface de contact avec le milieu humide, inhibant la formation de biofilm. Le dispositif comprend également des moyens de mesure différentielle entre les deux micro-capteurs. L'inhibition de la surface de contact peut notamment être assurée par des agents antibiotiques actifs vis-à-vis des micro-organismes présents dans le biofilm. Application: système de distribution d'eau.



# **UNIQUEMENT A TITRE D'INFORMATION**

Codes utilisés pour identifier les Etats parties au PCT, sur les pages de couverture des brochures publiant des demandes internationales en vertu du PCT.

AT	Arménie	GB	Royaume-Uni	MW	Malawi
AT	Autriche	GE	Géorgie	MX	Mexique
AU	Australie	GN	Guinée	NE	Niger
BB	Barbade	GR	Grèce	NL	Pays-Bas
BE	Belgique	HU	Hongrie	NO	Norvège
BF	Burkina Faso	IE	Irlande	NZ	Nouvelle-Zélande
BG	Bulgarie	IT	Italie	PL	Pologne
BJ	Bénin	JP	Japon	PT	Portugal
BR	Brésil	KE	Kenya	RO	Roumanie
BY	Bélarus	KG	Kirghizistan	RU	Fédération de Russie
CA	Canada	KP	République populaire démocratique de Corée	SD	Soudan
CF	République centrafricaine	KR	République de Corée	SE	Suède
CG	Congo	KZ	Kazakhstan	SG	Singapour
CH	Suisse	LI	Liechtenstein	SI	Slovénie
CI	Côte d'Ivoire	LK	Sri Lanka	SK	Slovaquie
CM	Cameroun	LR	Libéria	SN	Sénégal
CN	Chine	LT	Lituanie	SZ	Swaziland
CS	Tchécoslovaquie	LU	Luxembourg	TD	Tchad
CZ	République tchèque	LV	Lettonie	TG	Togo
DE	Allemagne	MC	Monaco	TJ	Tadjikistan
DK	Danemark	MD	République de Moldova	TT	Trinité-et-Tobago
EE	Estonie	MG	Madagascar	UA	Ukraine
ES	Espagne	ML	Mali	UG	Ouganda
FI	Finlande	MN	Mongolie	US	Etats-Unis d'Amérique
FR	France	MR	Mauritanie	UZ	Ouzbékistan
GA	Gabon			VN	Viet Nam

## DISPOSITIF DE DETECTION ET DE CONTROLE DE BIOFILMS

Le domaine de l'invention est celui des micro-capteurs permettant  
5 la détection et le contrôle de biofilms susceptibles de se former sur tout type  
de surface en contact avec un milieu humide et notamment au niveau des  
canalisations dans lesquelles s'écoulent un milieu aqueux.

De manière générale, les biofilms sont des structures formées par  
des bactéries ou d'autres micro-organismes, qui se déposent sur les  
10 surfaces exposées à l'humidité et sécrètent des polysides formant une  
matrice glycidique extrêmement résistante à l'abrasion. Cette matrice  
renforce l'adhérence des bactéries à la surface et les protège contre les  
agents chimiques, en particulier les désinfectants (Bryers, J.D., Colloids  
Surf. B:Biointerfaces, 1994, 2 (1-3), 9-23). De tels films se forment en  
15 particulier sur les parois des conduits des réseaux d'adduction d'eau  
potable, et sont souvent responsables d'une dégradation de la qualité de  
l'eau. Ainsi, l'apparition d'un goût désagréable peut résulter de la sécrétion  
de molécules organiques solubles telles que la géosmine ou l'isobornéol.  
Par ailleurs, on observe généralement une augmentation de la concentration  
20 de micro-organismes éventuellement pathogènes, ainsi que l'apparition  
d'une micro-flore et d'une micro-faune (protozoaires, petits crustacés, vers  
...). Enfin, ces biofilms peuvent être responsables d'une corrosion accélérée  
des installations. Ce dernier problème se rencontre non seulement dans les  
réseaux de distribution d'eau potable, mais aussi dans des installations  
25 industrielles telles que les systèmes d'injection d'eau dans les puits de  
pétrole (Ferris, F.G. et al. Can. J. Microbiol, 1992, 38(2), 1320-1324) ou les  
échangeurs de chaleur. Dans ces derniers, la formation de biofilms réduit en  
outre l'efficacité des transferts thermiques, on accroît les pertes de charges,  
diminuant ainsi notablement le rendement des installations (Shelton, D.R.  
30 and Tiedje, J.M. Appl. Environ. Microbiol., 1984, 48, 840-848).

La formation de biofilms bactériens est également observée dans  
les systèmes de distribution d'eau désionisée utilisés dans de nombreux  
secteurs de l'industrie et de la recherche (Richardson Z., Proc. 5th Int.  
SAMPE Electronics Conf., June 18-20, 1992, 552-558). De nombreux  
35 micro-organismes ont une structure suffisamment déformable pour pouvoir  
passer à travers les pores des filtres utilisés dans ces systèmes. Le

problème est particulièrement aigu dans l'industrie électronique. Diverses espèces chimiques sécrétées par ces micro-organismes sont sources d'impuretés qui peuvent affecter dramatiquement les performances des semi-conducteurs (J.E. Martyak, J.C. Carmody, G.R. Husted, 5 Microcontamination, 1993, 11 [1], 39-44).

Pour toutes ces raisons, on cherche actuellement à disposer de moyens permettant de détecter très rapidement la formation de biofilms et d'en mesurer l'évolution.

Plusieurs solutions ont été à ce jour proposées :

10 Une des méthodes utilisées pour évaluer l'importance de la contamination bactérienne et de la formation d'un biofilm consiste à prélever mécaniquement un échantillon, puis à cultiver les bactéries prélevées dans un milieu gélosé. On effectue ensuite un dénombrement par les techniques usuelles de microbiologie. Cette méthode présente un certain nombre 15 d'inconvénients.

En premier lieu, le prélèvement d'échantillons est difficile et peu reproductible, en raison de l'excellente adhérence du film bactérien sur la plupart des matériaux usuels ; de plus, un tel prélèvement n'est pas toujours réalisable en pratique, par exemple dans le cas d'installations enterrées ou 20 d'accès difficile.

En second lieu, les bactéries formant le biofilm se développent dans un milieu défavorable, pauvre en nutriments, et sont soumises à diverses agressions tels que chocs thermiques, osmotiques (concentration saline variable, dessiccation), ou chimiques (présence possible d'agents 25 désinfectants). Par suite, elles développent un certain nombre de mécanismes de résistance. En particulier, leur métabolisme se ralentit, et le temps nécessaire au doublement de leur population s'accroît dans des proportions difficiles à évaluer. Enfin, ces micro-organismes perdent la capacité de se développer sur les milieux de culture synthétiques utilisés en 30 laboratoire. Pour ces raisons, l'importance de la contamination est fréquemment sous-évaluée.

La méthode est donc non seulement difficile d'emploi, mais également peu fiable.

Récemment, il a été proposé d'utiliser une méthode de cytométrie 35 en flux, fondée sur une mesure de fluorescence : un marqueur fluorescent

est synthétisé par les bactéries à partir d'un précurseur. L'intensité de fluorescence mesurée peut être, dans certaines conditions, corrélée au nombre de cellules bactériennes contenues dans l'échantillon. Cette technique permet de s'affranchir de l'étape de culture sur milieu gélosé synthétique, et donc de prendre en compte la fraction de micro-organismes non cultivables. Toutefois, elle requiert toujours le prélèvement d'échantillons représentatifs, qui n'est pas toujours aisé ni même possible. De plus, elle nécessite l'ajout d'un réactif (précurseur du marqueur fluorescent) en quantités relativement importantes, ce qui peut constituer en soi une contamination inacceptable.

Un capteur de biofilms miniaturisé, intégré sur silicium, a été décrit (Stenberg M., Stemme G., Kittilsland G. Pedersen K., Sens. Actuators, 1988, 13(3), 203-221). Ce capteur mesure en fait la quantité de chaleur transférée par un fluide en mouvement, depuis une source de chaleur (élément chauffant), vers une diode sensible à la température située en aval. Cette quantité de chaleur est affectée par la présence d'un biofilm à la surface du capteur, formant une barrière isolante s'opposant au transfert thermique. Quoique présentant un intérêt indéniable, ce capteur souffre des inconvénients suivants. En premier lieu, la mesure réalisée n'est pas spécifique de la formation d'un biofilm. Un dépôt d'une autre nature (tartre par exemple), se traduit également par une réponse du capteur. Par ailleurs, une variation des conditions physiques de la mesure (température du milieu, viscosité du fluide, débit, force ionique, etc ...) peut donner lieu à une dérive du détecteur. Enfin la technologie requise pour la fabrication du dispositif est coûteuse et encore peu répandue.

Dans ce contexte, l'invention a pour objet un dispositif de détection et de contrôle de biofilm se formant sur une surface S en contact avec un milieu humide, basé sur une mesure différentielle entre plusieurs micro-capteurs dont l'un au moins possède la propriété d'être neutre vis-à-vis du biofilm, ce dernier pouvant ainsi se former sur ledit micro-capteur, un autre micro-capteur possédant une surface de contact avec le milieu humide inhibant la formation de biofilm. Ce dernier micro-capteur constitue une référence à laquelle peut être comparée le signal fourni par le premier micro-capteur.

Plus précisément, l'invention a pour objet un dispositif de détection et de contrôle de biofilm se formant sur une surface S en contact avec un milieu humide, caractérisé en ce qu'il comprend :

- au moins deux micro-capteurs  $C_0$  et  $C_1$  déposés sur la surface
- 5 S, le micro-capteur  $C_0$  possédant une surface de contact avec le milieu humide, neutre vis-à-vis de la formation de biofilm, le micro-capteur  $C_1$  possédant une surface de contact avec le milieu humide, munie d'un revêtement  $R_1$  inhibant la formation de biofilm ;
- des moyens de mesure différentielle des différents micro-
- 10 capteurs.

Avantageusement, le micro-capteur  $C_0$  peut posséder une surface de contact avec le milieu aqueux munie d'un revêtement de nature identique à celle de la surface S.

- Avantageusement, les micro-capteurs utilisés dans le dispositif de
- 15 l'invention peuvent être des capteurs sensibles à la masse de matière déposée à leur surface ; il peut typiquement s'agir de micro-capteurs à ondes acoustiques. Dans cette variante de l'invention, la masse liée à la surface du micro-capteur  $C_0$  s'accroît au fur et à mesure qu'un biofilm se forme. Le micro-capteur  $C_1$  ne mesure pas d'accroissement de masse
- 20 résultant de la formation d'un biofilm. En revanche tout phénomène physique ou chimique (en particulier les effets liés aux variations de température ou de densité de liquide) n'ayant pas de lien causal avec la formation ou la croissance d'un biofilm, influe sur la réponse des deux micro-capteurs  $C_0$  et  $C_1$  de la même façon. En comparant les signaux issus des deux micro-
- 25 capteurs, il est ainsi possible de s'affranchir des perturbations précitées ; la réponse obtenue est en effet corrélée de façon univoque à la formation et à la croissance du biofilm.

- Avantageusement, le revêtement  $R_1$  peut comprendre un agent antibiotique inhibant la formation de biofilm pouvant être enfermé dans un
- 30 matériau hôte, adapté pour combattre un type précis de micro-organismes.

Avantageusement, le revêtement  $R_0$  peut être constitué d'un matériau polymère hydrophobe et le revêtement  $\bar{R}_1$  peut comprendre un réseau interpénétré de macromolécules Mh dans une matrice de matériau polymère identique à celui du revêtement  $R_0$ .

Afin d'élargir le champ de prospection du dispositif de détection et de contrôle de biofilm évoqué ci-dessus, l'invention a également pour objet un dispositif associant une pluralité de micro-capteurs  $C_1, \dots C_i, \dots C_n$ , munis de revêtements  $R_1, \dots R_i, \dots R_n$  dans lesquels sont incorporés des agents antibiotiques différents, de façon à déterminer la nature des espèces contaminantes, responsables de la formation de biofilm.

L'invention sera mieux comprise et d'autres avantages apparaîtront à la lecture de la description qui va suivre, donnée à titre non limitatif et grâce aux figures annexées, parmi lesquelles :

- 10 - la figure 1 illustre un exemple de dispositif selon l'invention utilisant deux micro-capteurs à ondes acoustiques de volume ;
- la figure 2 illustre un exemple de dispositif selon l'invention, utilisant deux micro-capteurs à ondes acoustiques de surface ;
- la figure 3 illustre un exemple de micro-capteur à ondes acoustiques de love, utilisé dans un exemple de dispositif selon l'invention ;
- 15 - la figure 4 illustre des formules chimiques d'agents introduit dans un exemple de revêtement  $R_1$  et inhibant la formation de biofilm ;
- la figure 5 donne des exemples d'agents de surface utilisés dans des dispositifs selon l'invention.

20 Nous allons décrire l'invention dans le cadre de micro-capteurs à ondes acoustiques, qui présentent le double intérêt d'être particulièrement sensibles et de conception simple et adaptée aux applications visées (détection de biofilms dans des canalisations, ...). Néanmoins d'autres types de micro-capteurs peuvent être employés et notamment des micro-capteurs tels que ceux décrits par Stenbeerg et al (évoqués dans l'art antérieur cité

25 précédemment).

De façon générale, on distingue deux types de capteurs à ondes acoustiques : les capteurs à ondes acoustiques de volume et les capteurs à ondes acoustiques de surface. Les premiers sont souvent désignés par le

30 signe BAW de l'anglais "Bulk Acoustic Waves". Les seconds sont souvent désignés par le sigle SAW ("Surface Acoustic Waves").

Les capteurs BAW sont généralement réalisés à partir d'une plaquette de matériau piézoélectrique tel que le quartz monocristallin, découpée selon certaines orientations correspondant à un fort couplage

35 piézo-électrique associé à une faible sensibilité aux variations de

température. Des paires d'électrodes métalliques déposées de façon symétrique de part et d'autre de la plaquette permettent d'exciter et de détecter des ondes acoustiques se propageant dans la masse du matériau.

Selon le dispositif de l'invention, deux capteurs semblables  $C_0$  et  $C_1$  sont associés. L'un,  $C_1$ , est muni sur l'une de ses électrodes  $E_{11}$ , d'un film de matériau  $R_1$ , inhibant la formation de biofilms. L'autre,  $C_0$ , peut être laissé à nu, ou bien peut être avantageusement muni d'un film de matériau  $R_0$  sur l'une de ses électrodes  $E_{01}$ , le matériau  $R_0$  étant identique au matériau constituant les installations à surveiller, ou tout au moins de composition et de structures chimiques très voisines.

A titre d'exemple, pour surveiller des canalisations en PVC, on pourra avoir avantage à déposer sur le capteur  $C_0$ , un film de PVC de même nature. Par ailleurs, afin de minimiser les différences de fabrication et d'environnement entre  $C_1$  et  $C_0$ , on pourra avoir avantage à réaliser les deux capteurs côte à côte sur un même substrat de quartz sq, comme l'illustre la figure 1, les contre-électrodes  $E_{02}$  et  $E_{12}$  des deux capteurs  $C_0$  et  $C_1$  étant de l'autre côté dudit substrat sq.

Dans une autre variante de l'invention, le dispositif de l'invention comprend des micro-capteurs à ondes de surface. Ces capteurs comprennent deux séries d'électrodes interdigitées, déposées à la surface d'un matériau piézoélectrique. La figure 2 illustre un exemple de dispositif dans lequel les deux capteurs sont montés en parallèle, le capteur  $C_1$  comprend deux séries d'électrodes  $SE_{11}$  et  $SE_{12}$  séparées d'une distance  $d$ , à la surface d'un matériau piézoélectrique, entre ces deux séries d'électrodes, le revêtement  $R_1$  est également déposé à la surface du matériau piézoélectrique. Le capteur  $C_0$  comprend aussi deux séries d'électrodes interdigitées  $SE_{01}$  et  $SE_{02}$ , séparées de la même distance  $d$  que dans le capteur  $C_1$ . Un revêtement  $R_0$  peut avantageusement être déposé entre les deux séries d'électrodes  $SE_{01}$  et  $SE_{02}$ . L'ensemble des capteurs  $C_0$  et  $C_1$  peut être réalisé sur un même substrat piézoélectrique, type quartz, sq.

Pour réaliser la fonction d'inhibiteur de formation de biofilm, deux types de matériaux peuvent être utilisés. Le premier type empêche l'adhésion des micro-organismes en modifiant l'énergie de surface du



substrat ; le second inhibe la croissance de colonies bactériennes par l'effet d'agents antibiotiques incorporés, diffusant lentement vers la surface.

a) Revêtements diminuant l'adhérence des cellules :

Dans cette approche qui s'applique particulièrement bien à des  
5 matériaux polymères, on cherche à diminuer le caractère hydrophobe de la surface à protéger en incorporant au substrat sq des agents tensioactifs ou surfactants. Des exemples de surfactants efficaces sont : le poly-(oxyde d'éthylène), ainsi que les copolymères blocs de type A-B-A où A est le poly-(oxyde d'éthylène) et B est le poly-(oxyde de propylène) connus de l'homme  
10 de l'art sous l'appellation "Pluronic" (marque déposée de BASF) ou "Synperonic" (marque déposée de ICI) ; des poly-ionènes tels que les poly-ammoniums quaternaires ou les poly-phosphonium. Ces surfactants peuvent être incorporés à la surface du substrat sq à protéger de différentes manières :

15 - on peut ainsi simplement incuber le substrat sq dans une solution aqueuse contenant le surfactant ; cette technique s'applique particulièrement bien dans le cas des agents de type Pluronic déposés sur des surfaces hydrophobes, en particulier sur des polymères tels que le PVC, le polystyrène, le PMMA ... : les blocs de type B, hydrophobes, adhèrent  
20 alors fortement à la surface, alors que les blocs de type A, hydrophiles, se projettent vers la phase aqueuse, formant une interface stériquement stabilisée ;

- une autre méthode, désignée par le sigle SPIN (Surface Physical Interpenetrating Networks), consiste à placer la surface du substrat  
25 sq à protéger en contact avec une solution de surfactant (par exemple du poly-(oxyde d'éthylène) dans un solvant commun ; on laisse diffuser le surfactant dans le substrat sq dont la surface est gonflée par le solvant, puis on effectue une trempe rapide dans un solvant du surfactant, non solvant du matériau ; le surfactant est ainsi incorporé à la surface du substrat, dans un  
30 état métastable ;

- une troisième méthode consiste à utiliser des molécules intermédiaires capables de former des liaisons covalentes d'une part avec le substrat et d'autre part avec le surfactant. Cette approche s'applique non seulement à des substrats à base de matériaux polymères, mais aussi à des

surfaces métalliques, ou à des matériaux inorganiques, et en particulier au quartz.

Bien que les trois méthodes puissent être utilisées, on préférera la seconde ou la troisième, qui présentent l'avantage d'une meilleure  
5 stabilité à long terme. En effet, le surfactant adsorbé sur la surface  $\sigma_1$  dans la première méthode, peut être dissous dans la phase aqueuse à la longue.

#### Exemple 1 de dispositif selon l'invention

Un détecteur est réalisé selon l'invention en associant deux capteurs à ondes acoustiques de volume  $C_0$  et  $C_1$ , revêtus d'un film de poly-  
10 (chlorure de vinyle) (PVC) (Aldrich 34, 675-6, high molecular weight) réalisé par pulvérisation (spray coating) à partir d'une solution à  $5 \text{ g.l}^{-1}$  de PVC dans le tétrahydrofurane (THF), et recuit pendant 1h à  $60^\circ\text{C}$ . Le capteur  $C_1$  est de plus incubé, selon une procédure adaptée de (Desai, N.P. et al., biomaterials, 1991, 12(2), 144-153), dans une solution contenant :

- 15 - du polyéthylène glycol (PEG) 17'500 (Fluka, Mr ~ 15000-20000) :  $80 \text{ g.l}^{-1}$
- du THF : 40 %
- de l'eau désionisée : 60 %

portée à  $50^\circ\text{C}$ , pendant 15 minutes, puis trempé dans un excès  
20 d'eau désionisée. A l'issue de ce traitement, des molécules de PEG sont incorporées de façon stable et durable à la surface du capteur  $C_1$ . Le caractère hydrophile de cette dernière, comparée à la surface du PVC non traité (telle que celle du capteur  $C_0$ ) peut être évalué par une mesure d'angle de contact d'une goutte d'eau sur le revêtement : l'angle est  
25 sensiblement plus faible sur  $C_1$  ( $25^\circ$ ) que sur  $C_0$  ( $48^\circ$ ). La méthode peut être adaptée pour des capteurs revêtus de matériaux polymères divers, de préférence de même nature que ceux utilisés dans les installations à surveiller : polyuréthane, PET, PMMA, polystyrène, etc... Le tableau ci-après résume les conditions opératoires pouvant être utilisées en fonction  
30 du matériau  $R_1$  constituant le revêtement du capteur  $C_1$ . Dans ce tableau,  $\Sigma_1$  désigne le solvant à partir duquel ce matériau est déposé,  $\Sigma_2$  le solvant (ou mélange de solvant) d'immersion contenant le PEG (concentration  $80 \text{ g.l}^{-1}$ ),  $\Sigma_3$  le solvant de trempage,  $\text{H}_2\text{O}$  désigne l'eau désionisée, THF le tétrahydrofurane, TFAA l'acide trifluoroacétique, AC l'acétone.

$R_1$	Solvant $\Sigma_1$ (film)	Solvant $\Sigma_2$ (PEG)	Solvant $\Sigma_3$ (trempe)
Polyuréthane	THF	THF/H <sub>2</sub> O (40%/60%)	H <sub>2</sub> O
PET	TFAA	TFAA/H <sub>2</sub> O (20%/80%)	H <sub>2</sub> O
PMMA	AC	AC/H <sub>2</sub> O (60%/40%)	H <sub>2</sub> O

Les capteurs ainsi traités présentent une surface hydrophile inhibant la fixation des cellules susceptibles de former un biofilm.

#### 5                    Exemple 2 de dispositif selon l'invention

Deux capteurs  $C_0$  et  $C_1$  utilisant les ondes acoustiques de Love, sont réalisés selon un procédé analogue à celui décrit dans (Gizeli, E. et al. Sens. Actuators B, 1992, 6, 131-137). Il s'agit de capteurs comprenant une couche intermédiaire entre le substrat piézoélectrique et le revêtement  $R_0$  et/ou  $R_1$ , dans laquelle la vitesse de propagation des ondes acoustiques est inférieure à celle des ondes acoustiques dans le matériau piézoélectrique. La figure 3 illustre ce type de capteur dans lequel des jeux d'électrodes interdigitées  $SE_{i1}$  et  $SE_{i2}$  sont déposés à la surface du substrat piézoélectrique et recouverts de la couche intermédiaire, et concerne plus  
15 précisément le micro-capteur  $C_1$ .

Ainsi dans ce type de dispositif selon l'invention, ces capteurs comprennent un substrat de quartz sur lequel est déposé une couche de poly(méthacrylate de méthyle) (PMMA). Le PMMA du capteur  $C_1$  est de plus fonctionnalisé afin d'obtenir une surface inhibant la formation de biofilm, selon un procédé décrit dans (Dunkirk, S.G. et al., J. Biomater, Appl. 6, 131-156, 1991), par réaction photochimique avec du poly(éthylène glycol) (PEG) ou avec un copolymère de vinylpyrrolidone et de N-(amino-3 propyl) méthacrylamide, substitués par un agent de surface photo activable tel que l'acide benzoyl-4 benzoïque décrit en figure 4. Dans cet exemple, la couche  
20 de PMMA fonctionnalisée constitue le revêtement  $R_1$ . La surface de  $C_0$  n'est pas modifiée.

### Exemple 3 de dispositif selon l'invention

Dans cet exemple, les capteurs C<sub>0</sub> et C<sub>1</sub> présentent une surface constituée d'oxyde de silicium. La surface de C<sub>1</sub>, soigneusement nettoyée, est incubée dans une solution constituée de (III) chlorure de N,N,N-triméthyl-3 (triméthoxysilyl)-1 propanaminium (Huls America Inc., T2925, figure 6) à 10% dans du méthanol pendant 6 heures, lavée au méthanol puis à l'eau désionisée. A l'issue de ce traitement, les groupements ammonium quaternaires, qui possèdent une action bactéricide et fongicide, se trouvent greffés chimiquement à la surface de C<sub>1</sub>.

10 D'autres agents de surface, tels que (IV) le bromure de (N,N,N-tributyl)-3 (triméthoxysilyl)-1 propanaminium, (V) le chlorure de (N-diméthyl N-octadécyl)-3 (triméthoxysilyl)-1 propanaminium, (VI) le chlorure de (N-méthyl N,N-didécyl)-3 (triméthoxysilyl)-1 propanaminium, susceptibles d'inhiber la formation de biofilms, peuvent être greffés de façon similaire, 15 leurs formules chimiques sont données en figure 5.

#### b) Revêtements libérant progressivement un agent antibiotique :

Dans cette approche, la surface du capteur C<sub>1</sub> est revêtue d'un film constitué d'un matériau polymère dans lequel est dispersé un agent antibiotique A (bactéricide, fongicide, etc...). L'antibiotique A diffuse 20 lentement vers la surface et est progressivement relargué dans la phase aqueuse environnante.

### Exemple 4 de dispositif selon l'invention

Le revêtement du capteur C<sub>1</sub> est réalisé selon un procédé inspiré de (Golomb, G. and Shpigelman, A., J. Biomed, Mater. Res., 1991, 258), 25 937-952). Un film est déposé par pulvérisation (spray coating) à partir d'une solution de polyuréthane (env. 5 g.l<sup>-1</sup>) et de propylparaben (1 à 2 g.l<sup>-1</sup>) dans le THF. Après évaporation du solvant, le film est recuit à 60°C pendant 1 heure.

c) Revêtements diminuant l'adhérence des cellules et libérant  
30 progressivement un agent antibiotique :

Les deux approches précédentes peuvent être combinées pour réaliser le revêtement du capteur C<sub>1</sub>, de façon à en augmenter l'efficacité.

### Exemple 5 de dispositif selon l'invention

Le revêtement du capteur C<sub>1</sub> est réalisé en combinant les 35 approches décrites dans les exemples 1 et 4 : un film de polyuréthane est

réalisé selon la méthode décrite dans l'exemple 4. Ce film est ensuite incubé dans une solution de PEG telle que décrite dans l'exemple 1, contenant en outre du propylparaben à saturation. Le film est ensuite trempé rapidement dans l'eau, comme dans l'exemple 1. Le revêtement obtenu présente une surface hydrophile grâce aux chaînes de PEG incorporées au réseau de polyuréthane. De plus, il relargue progressivement du propylparaben, ayant une activité antibiotique à large spectre.

De manière générale, un avantage supplémentaire peut être obtenu en associant au capteur  $C_0$ , non pas un mais  $n$  capteurs  $C_1, \dots, C_n$ , chacun de ces  $n$  capteurs étant muni d'un revêtement par exemple du type décrit en b), les  $n$  revêtements  $R_1, \dots, R_n$  étant obtenus en incorporant dans une même matrice polymère  $n$  agents antibiotiques ayant des spectres d'activité différents. En présence d'une espèce donnée de micro-organisme, la formation de biofilm est plus ou moins inhibée en fonction du revêtement.

Le spectre de réponse des  $n+1$  capteurs  $C_0, C_1, \dots, C_n$ , fournit ainsi une indication de la nature de l'espèce contaminante, analogue à un antibiogramme classique. On peut ainsi plus facilement sélectionner la méthode de désinfection la mieux adaptée.

## REVENDICATIONS

1. Dispositif de détection et de contrôle de biofilm se formant sur une surface (S) en contact avec un milieu humide, caractérisé en ce qu'il  
5 comprend :
- au moins deux micro-capteurs ( $C_0$ ) et ( $C_1$ ) déposés sur la surface (S), le micro-capteur ( $C_0$ ) possédant une surface de contact avec le milieu humide, neutre vis-à-vis de la formation de biofilm, le micro-capteur ( $C_1$ ) possédant une surface de contact avec le milieu humide, munie d'un  
10 revêtement ( $R_1$ ) inhibant la formation de biofilm ;
  - des moyens de mesure différentielle des différents micro-capteurs.
2. Dispositif de détection et de contrôle de biofilm selon la revendication 1, caractérisé en ce que le micro-capteur ( $C_0$ ) possède une  
15 surface de contact avec le milieu humide munie d'un revêtement ( $R_0$ ) de nature identique à celle de la surface (S).
3. Dispositif de détection et de contrôle de biofilm selon la revendication 2, caractérisé en ce que le revêtement ( $R_1$ ) comprend un matériau hôte renfermant un agent antibiotique, progressivement relargué  
20 dans le milieu humide, le revêtement ( $R_0$ ) comprenant le même matériau hôte sans agent antibiotique.
4. Dispositif de détection et de contrôle de biofilm selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce que le revêtement ( $R_1$ ) comprend du matériau de type polymère hydrophobe et identique à celui de la surface  
25 (S) et des agents tensioactifs ou surfactants diminuant le caractère hydrophobe dudit matériau.
5. Dispositif de détection et de contrôle de biofilm selon la revendication 4, caractérisé en ce que les surfactants sont des copolymères de poly-(oxyde d'éthylène) et poly-(oxyde de propylène).
- 30 6. Dispositif de détection et de contrôle de biofilm selon la revendication 4, caractérisé en ce que les surfactants sont des poly-ionènes de type ammonium quaternaire ou phosphonium.
7. Dispositif de détection et de contrôle de biofilm selon la revendication 2, caractérisé en ce que le revêtement ( $R_0$ ) est constitué d'un  
35 matériau polymère hydrophobe et que le revêtement ( $R_1$ ) comprend un

réseau interpénétré de macromolécules (Mh) dans une matrice de matériau polymère identique à celui du revêtement ( $R_0$ ).

8. Dispositif de détection et de contrôle de biofilm selon la revendication 7, caractérisé en ce que les molécules (Mh) sont des molécules de poly-(éthylène glycol).

9. Dispositif de détection et de contrôle de biofilm selon l'une des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que les micro-capteurs sont à ondes acoustiques.

10. Dispositif de détection et de contrôle de biofilm selon l'une des revendications 1 à 9, caractérisé en ce qu'il comprend une pluralité de micro-capteurs ( $C_1$ ), ... ( $C_j$ ), ... ( $C_n$ ) munis de revêtements différents ( $R_1$ ), ... ( $R_j$ ), ... ( $R_n$ ) dans lesquels sont incorporés des agents antibiotiques différents, actifs vis-à-vis de différents agents existant dans le biofilm.

1/3

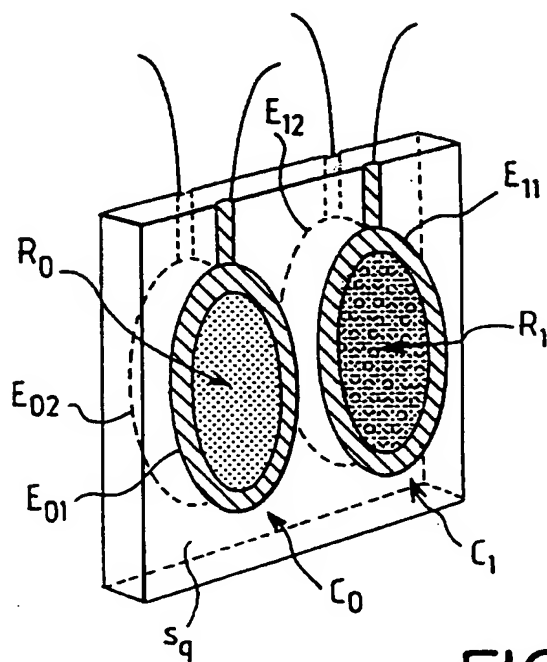


FIG. 1

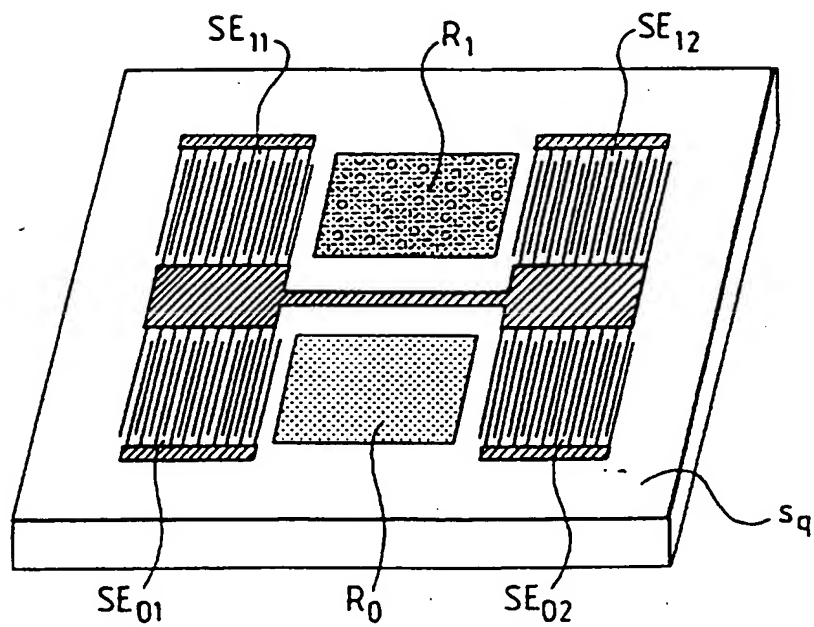


FIG. 2



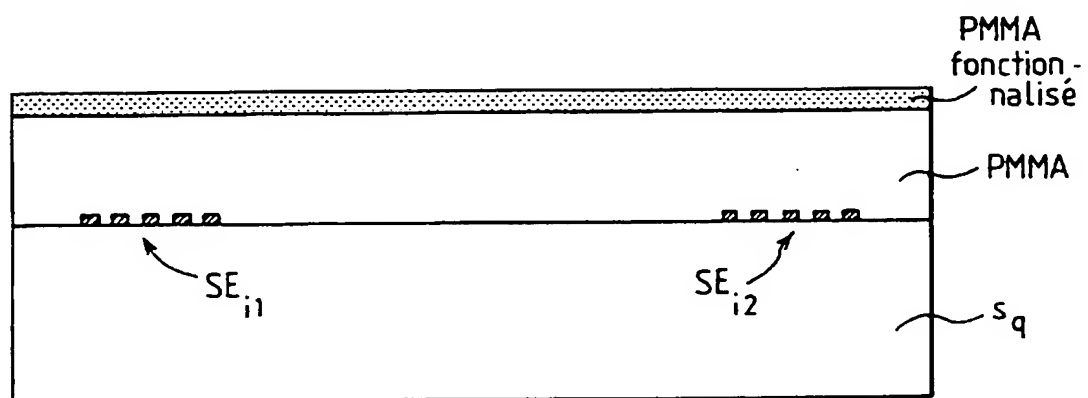


FIG.3

3/3

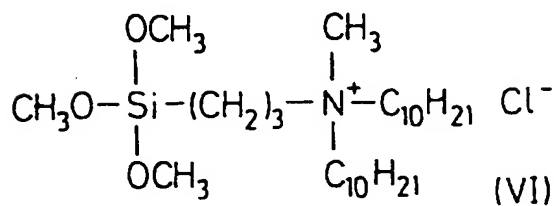
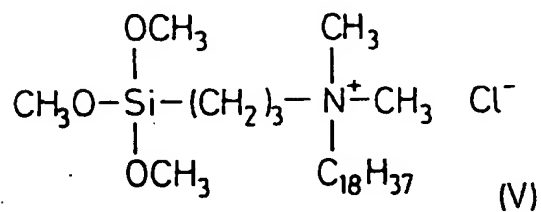
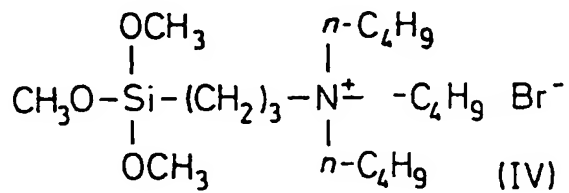
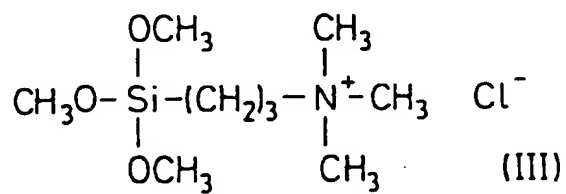
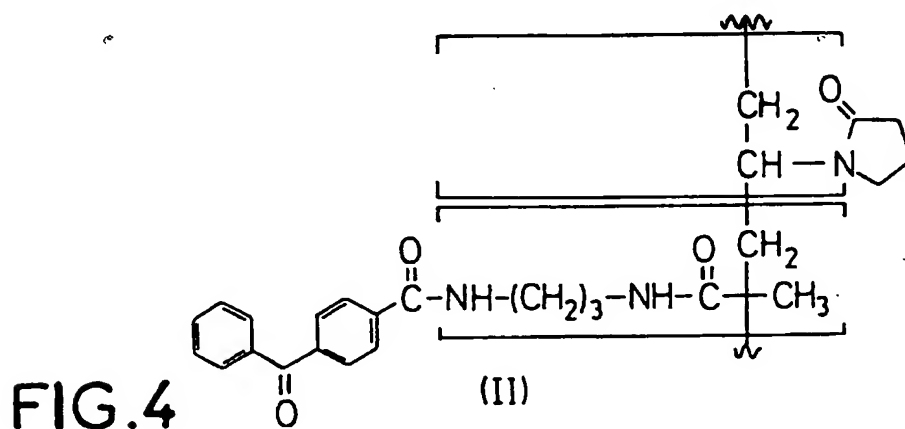
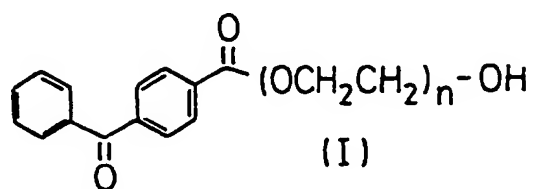


FIG.5

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PLI/FR 96/01515

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
IPC 6 C12Q1/04 G01N17/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 6 C12Q G01N

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
P,Y	US,A,5 487 981 (NIVENS DAVID E ET AL) 30 January 1996 see column 6, line 21 - line 26 ---	1
X	SENSORS AND ACTUATORS B, vol. B07, no. 1 / 03, 1 March 1992, pages 602-605, XP000287011 CALIENDO C: "ACOUSTIC LOVE-WAVE SENSOR FOR K+ CONCENTRATION IN H2O SOLUTIONS" see the whole document ---	1-3
X	WO,A,90 05305 (MALMQVIST) 17 May 1990 see page 14 - page 21; claim 1 ---	1
Y	WO,A,89 12644 (ASSOCIATES OF CAPE COD) 28 December 1989 see page 28 ---	1
-/--		

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

## \* Special categories of cited documents :

- \* "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \* "E" earlier document but published on or after the international filing date
- \* "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \* "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \* "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \* "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \* "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \* "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- \* "Z" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

5 December 1996

Date of mailing of the international search report

06.01.97

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+ 31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax (+ 31-70) 340-3016

Authorized officer

Wells, A

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.

PCT/FR 96/01515

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US,A,5 324 591 (GEORGER JR JACQUE H ET AL) 28 June 1994 see column 11, line 11, paragraph 20 ---	1
Y	US,A,5 187 980 (BLAIR DIANNA S ET AL) 23 February 1993 see claim 1 ---	1
Y	WO,A,93 07463 (UNIV CALIFORNIA) 15 April 1993 see claim 14 ---	1
Y	SENSORS AND ACTUATORS B, vol. B08, no. 2, 1 May 1992, pages 191-198, XP000286955 ANDLE J C: "AN ACOUSTIC PLATE MODE BIOSENSOR" see the whole document ---	1,2,4
Y	WO,A,91 01381 (DU PONT) 7 February 1991 see page 3, line 19 - page 4, line 11 ---	1
Y	EP,A,0 402 917 (BIOCIRCUITS CORP) 19 December 1990 see column 25, line 24, paragraph 26; claim 1 ---	1,2,4
Y	US,A,5 246 560 (NEKOKSA GEORGE ET AL) 21 September 1993 see column 5, line 46, paragraph 52 ---	1
A	US,A,4 631 961 (YOHE THOMAS L ET AL) 30 December 1986 see the whole document ---	1
A	BIOMATERIALS, vol. 12, 1991, pages 144-153, XP002008348 N.P. DESAI & J.A. HUBBELL: "Solution Technique to Incorporate Polyethylene Oxide..." cited in the application see the whole document -----	1,5

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PL 1/FR 96/01515

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US-A-5487981	30-01-96	NONE	
WO-A-9005305	17-05-90	AT-T- 132975	15-01-96
		AT-T- 119671	15-03-95
		DE-D- 68921635	13-04-95
		DE-T- 68921635	05-10-95
		DE-D- 68925426	22-02-96
		DE-T- 68925426	22-08-96
		EP-A- 0442922	28-08-91
		EP-A- 0442930	28-08-91
		JP-T- 4501606	19-03-92
		JP-T- 4501607	19-03-92
		SE-A- 8804074	10-11-88
		WO-A- 9005306	17-05-90
		SE-A- 8902043	11-05-90
		US-A- 5554541	10-09-96
		US-A- 5492840	20-02-96
WO-A-8912644	28-12-89	AU-A- 3772289	12-01-90
		DE-D- 68925275	08-02-96
		DE-T- 68925275	22-08-96
		EP-A- 0379549	01-08-90
		EP-A- 0687911	20-12-95
		JP-T- 3501733	18-04-91
US-A-5324591	28-06-94	US-A- 5077085	31-12-91
		US-A- 5079600	07-01-92
		US-A- 5510628	23-04-96
		EP-A- 0506993	07-10-92
		US-A- 5389496	14-02-95
		US-A- 5500315	19-03-96
		US-A- 5391463	21-02-95
US-A-5187980	23-02-93	NONE	
WO-A-9307463	15-04-93	US-A- 5212988	25-05-93
		AU-A- 2663992	03-05-93
WO-A-9101381	07-02-91	US-A- 5135852	04-08-92
		CA-A- 2064188	26-01-91

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PLI/FR 96/01515

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO-A-9101381		DE-D- 69003535	28-10-93
		DE-T- 69003535	10-02-94
		EP-A- 0484384	13-05-92
		ES-T- 2060189	16-11-94
		JP-T- 4506898	03-12-92
-----			
EP-A-0402917	19-12-90	US-A- 5156810	20-10-92
		AT-T- 145064	15-11-96
		CA-A- 2019039	15-12-90
		JP-A- 3128449	31-05-91
		US-A- 5427915	27-06-95
		US-A- 5491097	13-02-96
		US-A- 5571568	05-11-96
		US-A- 5268305	07-12-93
-----			
US-A-5246560	21-09-93	US-A- 5356521	18-10-94
-----			
US-A-4631961	30-12-86	NONE	
-----			

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Der -de Internationale No  
PL: /FR 96/01515

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE  
CIB 6 C12Q1/04 G01N17/00

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)

CIB 6 C12Q G01N

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si cela est réalisable, termes de recherche utilisés)

C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie *	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
P, Y	US, A, 5 487 981 (NIVENS DAVID E ET AL) 30 Janvier 1996 voir colonne 6, ligne 21 - ligne 26 ---	1
X	SENSORS AND ACTUATORS B, vol. B07, no. 1 / 03, 1 Mars 1992, pages 602-605, XP000287011 CALIENDO C: "ACOUSTIC LOVE-WAVE SENSOR FOR K+ CONCENTRATION IN H2O SOLUTIONS" voir le document en entier ---	1-3
X	WO, A, 90 05305 (MALMQVIST) 17 Mai 1990 voir page 14 - page 21; revendication 1 ---	1
Y	WO, A, 89 12644 (ASSOCIATES OF CAPE COD) 28 Décembre 1989 voir page 28 ---	1
	-/--	

☒ Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents

☒ Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

\* Catégories spéciales de documents cités:

- \* "A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- \* "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- \* "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- \* "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- \* "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention

"X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément

"Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier

\* "Z" document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

5 Décembre 1996

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

06.01.97

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale  
Office Européen des Brevets, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+ 31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl.  
Fax: (+ 31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Wells, A

## RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

 Doc. de Internationale No  
 PU/FR 96/01515

C.(suite) DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS		
Catégorie *	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
Y	US,A,5 324 591 (GEORGER JR JACQUE H ET AL) 28 Juin 1994 voir colonne 11, ligne 11, alinéa 20 ---	1
Y	US,A,5 187 980 (BLAIR DIANNA S ET AL) 23 Février 1993 voir revendication 1 ---	1
Y	WO,A,93 07463 (UNIV CALIFORNIA) 15 Avril 1993 voir revendication 14 ---	1
Y	SENSORS AND ACTUATORS B, vol. 808, no. 2, 1 Mai 1992, pages 191-198, XP000286955 ANDLE J C: "AN ACOUSTIC PLATE MODE BIOSENSOR*" voir le document en entier ---	1,2,4
Y	WO,A,91 01381 (DU PONT) 7 Février 1991 voir page 3, ligne 19 - page 4, ligne 11 ---	1
Y	EP,A,0 402 917 (BIOCIRCUITS CORP) 19 Décembre 1990 voir colonne 25, ligne 24, alinéa 26; revendication 1 ---	1,2,4
Y	US,A,5 246 560 (NEKOKSA GEORGE ET AL) 21 Septembre 1993 voir colonne 5, ligne 46, alinéa 52 ---	1
A	US,A,4 631 961 (YOHE THOMAS L ET AL) 30 Décembre 1986 voir le document en entier ---	1
A	BIOMATERIALS, vol. 12, 1991, pages 144-153, XP002008348 N.P. DESAI & J.A. HUBBELL: "Solution Technique to Incorporate Polyethylene Oxide..." cité dans la demande voir le document en entier -----	1,5



# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs à : Membres de familles de brevets

Dem. de Internationale No

PL/FR 96/01515

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US-A-5487981	30-01-96	AUCUN	
WO-A-9005305	17-05-90	AT-T- 132975	15-01-96
		AT-T- 119671	15-03-95
		DE-D- 68921635	13-04-95
		DE-T- 68921635	05-10-95
		DE-D- 68925426	22-02-96
		DE-T- 68925426	22-08-96
		EP-A- 0442922	28-08-91
		EP-A- 0442930	28-08-91
		JP-T- 4501606	19-03-92
		JP-T- 4501607	19-03-92
		SE-A- 8804074	10-11-88
		WO-A- 9005306	17-05-90
		SE-A- 8902043	11-05-90
		US-A- 5554541	10-09-96
		US-A- 5492840	20-02-96
WO-A-8912644	28-12-89	AU-A- 3772289	12-01-90
		DE-D- 68925275	08-02-96
		DE-T- 68925275	22-08-96
		EP-A- 0379549	01-08-90
		EP-A- 0687911	20-12-95
		JP-T- 3501733	18-04-91
US-A-5324591	28-06-94	US-A- 5077085	31-12-91
		US-A- 5079600	07-01-92
		US-A- 5510628	23-04-96
		EP-A- 0506993	07-10-92
		US-A- 5389496	14-02-95
		US-A- 5500315	19-03-96
		US-A- 5391463	21-02-95
US-A-5187980	23-02-93	AUCUN	
WO-A-9307463	15-04-93	US-A- 5212988	25-05-93
		AU-A- 2663992	03-05-93
WO-A-9101381	07-02-91	US-A- 5135852	04-08-92
		CA-A- 2064188	26-01-91

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux membres de familles de brevets

De : de Internationale No

PLI/FR 96/01515

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
WO-A-9101381		DE-D- 69003535	28-10-93
		DE-T- 69003535	10-02-94
		EP-A- 0484384	13-05-92
		ES-T- 2060189	16-11-94
		JP-T- 4506898	03-12-92
-----			
EP-A-0402917	19-12-90	US-A- 5156810	20-10-92
		AT-T- 145064	15-11-96
		CA-A- 2019039	15-12-90
		JP-A- 3128449	31-05-91
		US-A- 5427915	27-06-95
		US-A- 5491097	13-02-96
		US-A- 5571568	05-11-96
		US-A- 5268305	07-12-93
-----			
US-A-5246560	21-09-93	US-A- 5356521	18-10-94
-----			
US-A-4631961	30-12-86	AUCUN	
-----			